

Таким образом, разработанное программное обеспечение позволяет численно оценивать значение дисбаланса электромагнитных сил МП в зависимости от эксцентриситета, что является определяющим фактором при проектировании автоматизированных систем контроля и управления положением ротора МП.

Библиографический список

1. Защита от аварийных режимов работы асинхронных электродвигателей [Электронный ресурс]: URL: <http://www.normalizator.com/manuals/articles/motor-protection>
2. Хайруллин И.Х., Вавилов В.Е., Пашали Д.Ю., Охотников М.В. Микропроцессорная автономная система управления узлами сверхвысокоскоростных магнитоэлектрических машин // Электроника, автоматика и измерительная техника: межвузовский сборник научных трудов с международным участием. Уфа: УГАТУ, 2011. 311 с.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ ЖИДКОСТЕЙ С ПЕРЕМЕННЫМИ РЕОЛОГИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ В ТРУБОПРОВОДАХ

*Васильева Н. А., Варфоломеева О. И., Хворенков Д. А., Попов Д. Н.
Ижевский государственный технический университет
tguug@istu.ru*

В связи с широким использованием в технологических процессах ряда отраслей промышленности псевдопластичных и вязкопластичных жидкостей, исследование их течений, сопряженных с тепломассопереносом представляют большой интерес. К таким отраслям относятся энергетика, металлургическая, химическая и пищевая промышленности, нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая отрасли, а также ряд других.

Определенные сложности выбора способа решения подобных задач возникают в связи с тем, что не удается получить аналитические решения даже для простых видов течений, а также существуют трудности и при их численном моделировании.

В данной работе рассматриваются возможные подходы к решению описанного класса задач на примере турбулентного неизотермического течения не-реологической жидкости в плоском канале.

Для анализа влияния реологических свойств на картину течения, выполнены следующие этапы:

1. решение дифференциальных уравнений пограничного слоя в частных производных для мазута марки М100 без учета его реологических свойств;
2. аналитический расчет поля скоростей в плоском канале при течении не-реологической жидкости;
3. анализ результатов.

Для реализации первого этапа исследования была разработана математическая модель, включающая систему нестационарных дифференциальных уравнений Навье-Стокса:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \nabla(V \otimes V) = -\frac{\nabla P}{\rho} + \frac{1}{\rho} \nabla((\mu + \mu_t)(\nabla V + (\nabla V)^T)) + S; \nabla V = 0,$$

уравнение энергии
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla(Vh) = \frac{1}{\rho} \nabla \left(\left(\frac{\lambda}{C_p} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \nabla h \right) + \frac{Q}{\rho}.$$

Турбулентность описывалась уравнениями $k-\varepsilon$ модели. Уравнения решались в трехмерной постановке. Расчетная область с указанием границ приведена на рис. 1.

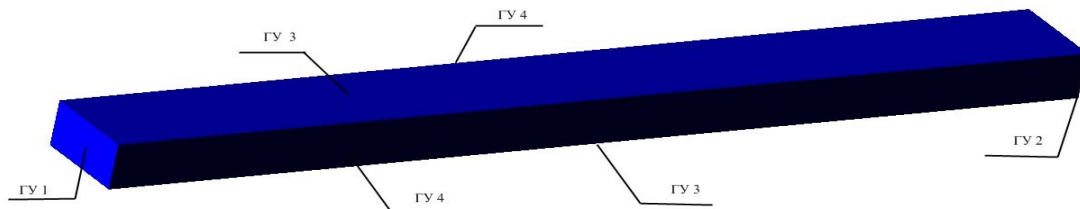


Рис. 1. Расчетные области плоского канала

Граничные условия:

ГУ 1 «Вход» $v = 1 \text{ м/с}$; $t = 80^\circ\text{C}$;

ГУ 2 «Выход» $p = p_{\text{атм}}$; $dt/dx = 0$;

ГУ 3 «Стенка» $v = 0 \text{ м/с}$; $t = 60^\circ\text{C}$;

ГУ 4 «Стенка с проскальзыванием» $dv/dz = 0$; $dt/dz = 0$.

На входной границе задавались условия постоянства.

В результате расчета были получены поля скоростей в расчетной области. Из рис. 2 видно, что поле течения характеризуется высокими локальными скоростями в центральной области плоского канала. При нулевых температурах вдоль стенок плоского канала образуется приграничный слой, поскольку его температура застывания колеблется около 25°C , и вследствие этого снижается скорость.

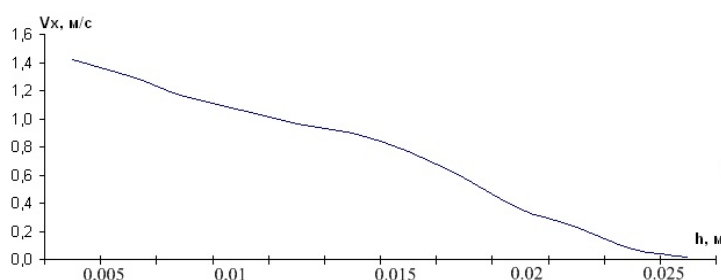


Рис. 2. Распределение скоростей в расчетной области плоского канала.
Результат численного эксперимента

По методике, приведенной в [2], выполнен расчет для установившегося течения несжимаемой жидкости со степенным реологическим законом в плоском горизонтальном канале, исследовано распределение скоростей, при $n=1$, $n \rightarrow \infty$ и $n \rightarrow 0$.

При установившемся течении вдоль оси x : $v_y = v_z = 0$, $g_x = g_z = 0$, $g_y = g$

$$v_x = -\frac{1}{k^{\frac{1}{n}}} \left(\frac{dp}{dx} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{n}{1+n} \left(\left(\frac{h}{2} \right)^{\frac{(1+n)}{n}} - (y)^{\frac{(1+n)}{n}} \right) \quad (1)$$

где $k = 1 \text{ Па} \cdot \text{с}^2$ – показатель адиабаты, $h = 50 \text{ мм}$ – высота канала.

Максимальная скорость (при $y = 0$):

$$v_{\max} = -\frac{1}{k^n} \left(\frac{dp}{dx} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{n}{1+n} \left(\frac{h}{2} \right)^{\frac{(1+n)}{n}} \quad (2)$$

$v_{\max} = 1$ м/с – максимальная скорость по результатам расчета.

Исследование проводилось для безразмерной скорости, воспользовавшись уравнениями (1), (2):

$$\frac{v_x}{v_{\max}} = 1 - \left(\frac{y}{h} \right)^{\frac{(1+n)}{n}} \quad (3)$$

Получаем:

при $n=1$
$$\frac{v_x}{v_{\max}} = 1 - \left(\frac{y}{h} \right)^2, \quad (4)$$

при $n \rightarrow \infty$
$$\frac{v_x}{v_{\max}} \rightarrow 1 - \frac{y}{h}, \quad (5)$$

при $n \rightarrow 0$
$$\frac{v_x}{v_{\max}} \rightarrow 1 - \left(\frac{y}{h} \right)^{\infty} \quad (6)$$

Уравнения (4)-(6) проиллюстрируем графически (рис.3).

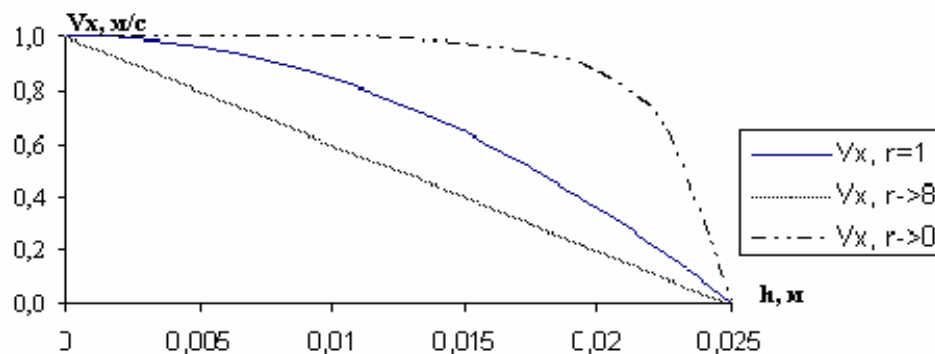


Рис. 3. Распределение скоростей для жидкости со степенным реологическим законом.
Результат аналитического решения

Сравним полученные результаты:

$$\Delta = \frac{v_{ч.р} - v_{а.р}}{v_{ч.р}} \cdot 100\% ;$$

$$\Delta = \frac{1,137 - 0,99}{1,137} \cdot 100\% = 12,9\% .$$

Подтверждена расчетами необходимость учета реологических свойств жидкостей при моделировании и расчете течения неньютоновской жидкости (на примере мазута М100) по трубопроводам.

Библиографический список

1. Назмеев Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. М.: МЭИ, 2002. 612 с.
2. Борзенко Е. И. Численное моделирование течений реологически сложной жидкости в плоских каналах. Томск: Изд-во ТГУ, 2009. 19 с.
3. Островский Г.М. Прикладная механика неоднородных сред. СПб.: Наука, 2000. 357 с.